(Aus der Augenabteilung der Kantonalen Krankenanstalt Aarau.
[Oberarzt: Dr. *A. Vogt.*])

Experimentelle Untersuchungen
über
die Fluoreszenz der menschlichen Linse.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät zu Basel

vorgelegt von

Jules de Sepibus
aus Siders (Wallis)
Assistenzarzt an der Kantonalen Krankenanstalt in Aarau.

ACAD.
LUGDBAT
BIBL.

Mit 1 Farbentafel.

BERLIN 1913.
VERLAG VON S. KARGER.
KARLSTRASSE 15.

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

Referent: Prof. *Mellinger*.

Sonderabdruck aus der
Zeitschrift für Augenheilkunde. Bd. XXIX. Heft 3.

Einleitung.

Brücke und *Helmholtz* haben zuerst auf die Erscheinungen der Fluoreszenz der Linse hingewiesen. *Helmholtz* benutzte die Fluoreszenz im ultravioletten Licht zur Demonstration der menschlichen und tierischen Linse in vivo.

Physik der Fluoreszenz[1]).

Physikalisch bedeutet Fluoreszenz Umwandlung von Strahlen gewisser Wellenlänge in Strahlen anderer Wellenlänge. In weitaus den meisten Fällen ist diese sekundäre Strahlung von größerer Wellenlänge als die primäre (*Stokes* Regel).

Die meisten Körper fluoreszieren und zwar hauptsächlich im Bereich des Ultraviolett, Violett und Blau. Nicht oder nur undeutlich fluoreszieren sehr wenige Körper, wie Porzellan oder reiner Kalkspat.

Am zweckmäßigsten zur Erzeugung der Fluoreszenz sind nach dem Gesagten solche Lichtquellen, welche möglichst kurzwellige Strahlen enthalten (Magnesiumlampe, Quecksilberdampflampe, Bogenlampen mit Cadmium, Aluminium- oder Eisenelektroden).

Am auffallendsten und zuerst beobachtet ist die durch *ultraviolette* Strahlen verursachte Fluoreszenz, weil hierbei unsichtbare Strahlen in sichtbare verwandelt werden. Die durch Fluoreszenz erregte Strahlung kann selber auch unsichtbar sein, wenn nämlich kurzwelliges Ultraviolett in längerwelliges Ultraviolett verwandelt wird.

Diese letztere Art Fluoreszenz läßt sich entweder mit Hilfe fluoreszierender Körper — sekundäre Fluoreszenz — nachweisen oder auf photographischem Wege, da die photographischen Platten auch für ultraviolette Strahlen empfindlich sind.

Beobachtungsmethoden zur Konstatierung der Fluoreszenz gibt es verschiedene.

Läßt man einen intensiven Strahlenkegel auf den zu untersuchenden Körper oder auf die in einem mit parallelen Wänden aus Quarz versehenen Kasten befindliche Flüssigkeit fallen, so wird sich in den meisten Fällen die Bahn der Lichtstrahlen innerhalb des Körpers von der übrigen Masse des Körpers abheben. Aus

---

[1]) Angelehnt an *A. Winkelmann*, Handbuch der Physik. II. Aufl.

dieser Beobachtung läßt sich noch nicht unmittelbar auf das Vorhandensein von Fluoreszenz schließen. Denn alle Körper, in deren Innerem eine Reflexion stattfindet, werden die Bahn der Lichtstrahlen erkennen lassen, ohne deshalb notwendig die Fähigkeit der Fluoreszenz zu besitzen. Diese Reflexion kann im Innern von Flüssigkeiten durch kleine suspendierte Teilchen oder Glasbläschen bei festen Körpern durch Bläschen oder Kanäle herbeigeführt werden.

Es ist sehr schwierig, Flüssigkeiten herzustellen, in denen gar keine Reflexion stattfindet; solche Flüssigkeiten nennt man nach *Tyndall* optisch leer. Ist ein durchgesandter Lichtstrahl von der Seite her nicht mehr sichtbar, so ist ein Beweis dafür gegeben, daß die Flüssigkeit in der Tat optisch leer ist.

Schon *Stokes* hat die Bedeutung der eben vorgelegten Erscheinung erkannt; er bezeichnet die allseitige Lichtaussendung eines durchstrahlten Körpers als „falsche innere Dispersion", falls sie ihren Ursprung Reflexionen im Innern verdankt, und im Gegensatz hierzu bezeichnet er die Fluoreszenz, mit der immer eine Aenderung der Brechbarkeit des Lichtes verknüpft ist, als „wahre innere Dispersion".

Um die falsche Dispersion, die man auch Opaleszenz nennt, von der wahren zu kennen, genügt es bei den flüssigen und einfach brechenden festen Körpern, die Polarisation des von der Substanz ausgehenden Lichtes zu untersuchen. Das Opaleszenzlicht ist immer polarisiert, das Fluoreszenzlicht ist immer unpolarisiert.

Eine andere Methode hat *Stokes* angegeben: Man färbt auf einem weißen Papier einen Streifen mit Curcumätinktur, der horizontal auf dem vertikal gestellten Schirme verläuft.

Dann entwirft man auf dem Papier aus einer vertikalen Spalte ein reines Spektrum, welches teils auf den Curcumästreifen, teils auf das reine Papier fällt. Betrachtet man das horizontal stehende Spektrum durch ein Prisma, dessen brechende Kante horizontal steht, so sieht man folgendes: Zunächst zeigt sich ein primitives schräges Spektrum, welches von dem primären Spektrum auf dem reinen Papier herrührt und die natürlichen Farben von Rot bis Violett enthält. Außerdem sieht man ein zweites „deriviertes" Spektrum, welches von dem primären Spektrum herrührt, das auf dem getränkten Streifen sich befindet. Im derivierten Spektrum verlaufen die Linien gleicher Farbe horizontal. Die *Fraunhofer*schen Linien verlaufen ebenso wie im primären Spektrum vertikal.

Die angebene Methode der gekreuzten Prismen läßt sich fast immer anwenden, man braucht nur das primäre Spektrum auf dem zu untersuchenden Körper zu entwerfen und dann mittels eines Prismas das derivierte Spektrum zu beobachten. Diese Methode läßt auch am deutlichsten die Tatsache erkennen, daß das durch homogenes Licht erregte Fluoreszenzlicht nicht mehr homogen ist, sondern Strahlen verschiedener Brechbarkeit enthält; die Brechbarkeit des erregten Lichtes ist aber nach der *Stokes*schen Regel für keinen Strahl größer als die Brechbarkeit des erregenden Lichtes.

(Wenige Ausnahmen von dieser Regel sind zuerst von *Lommel* nachgewiesen worden.)

Bisherige Untersuchungen über Fluoreszenz der Linse.

Nach den Untersuchungen von *Brücke* und *Helmholtz*, welch letzterer das Fluoreszenzlicht der menschlichen Linse im Ultraviolett als Weißblau bezeichnet (*Helmholtz*, Physiologische Optik, 2. Aufl., S. 284) hat sich besonders *Schulek* mit der Fluoreszenz befaßt. (Ungarische Beiträge zur Augenheilkunde. II. Bd. S. 645/646.)

Folgendes schließt er aus seinen Versuchen:

„Die Linse gesunder Menschen schneidet bei jungen und bei alten Leuten fast gleichmäßig den ultravioletten Teil des Spektrums ab und schützt durch ihre Absorption die Netzhaut vor dem Ueberviolett."

„Das durch die Linse zurückgehaltene Licht kommt bei Kindern zum Teil als Fluoreszenz zum Vorschein. Bei alten Leuten ändert es seine Energieform und wird zumeist in Wärme umgewandelt."

„Die junge Linse ist farblos, die alte gelb; die junge fluoresziert, die alte nicht. Aufhören der Fluoreszenz und Gelbwerden der Linse lösen sich ab und dürften wohl mit Aenderungen der molekularen Struktur zusammenhängen." „Die Fluoreszenz ist grünlichblau etwa Radde 18—19; bei Erwachsenen einen Stich grünlicher (Chinalösung fluoresziert Radde 22/—)."

„Die Linse ist im allgemeinen gelblich, bei Neugeborenen und Kindern mitunter erkennbar, später ausgesprochener. Die gelbe Farbe ist bei allen Fällen gleichen Alters oft sehr verschieden."

Die Fluoreszenz der Linse hat in neuerer Zeit zu verschiedenen Untersuchungen und Theorien Anlaß gegeben. *Schanz* und *Stockhausen* sehen in der Fluoreszenz einen Beweis für die Schädlichkeit der ultravioletten Strahlen für die menschliche Linse und für die Ursache des Glasmacher- und Altersstars.

Jedoch sollte es sich nach diesen beiden Autoren bei der Fluoreszenz der Linse nicht um eine Umwandlung der ultravioletten Strahlen in Strahlen verschiedener Wellenlängen innerhalb des Bereiches des sichtbaren Spektrums handeln, wie von anderer Seite bewiesen war, sondern um ein Sichtbarwerden der ultravioletten Strahlen von 400—350 $\mu\mu$ Wellenlänge (Arch. f. Ophthalm. Bd. 69. 1909. S. 456).

In einer späteren Arbeit kehren jedoch die beiden Autoren, nachdem von *Vogt* gezeigt worden war, daß ihre Versuchsbedingungen unrichtig waren, wieder zu der Auffassung zurück, daß die Fluoreszenz der Linse im Ultraviolett eine wirkliche Fluoreszenz ist, bedingt durch die Umwandlung von kurzwelligen Strahlen in längerwellige (Arch. f. Ophthalm. Bd. 73. S. 186). Auch mit einer Theorie der Erythropsie ist die Fluoreszenz von *Schanz* und *Stockhausen* in Zusammenhang gebracht worden. Die Fluoreszenz sollte nach diesen Autoren an einen bestimmten Stoff in der Linse gebunden sein, der durch die ultravioletten Strahlen „ausgebleicht"

werde. Durch dieses Ausbleichen gelinge es dann den ultravioletten Strahlen in die Netzhaut zu gelangen und dort Erythropsie zu erzeugen. (Bericht über die Versammlung der ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg 1908.)

Auch diese Theorie wurde später von *Vogt* (Arch. f. Augenheilk. 1909. Bd. 64. S. 362), sowie von *Birch-Hirschfeld* und kürzlich von *Wydler* widerlegt (Ztschr. f. Augenheilk. 1912. Bd. 27. H. 4).

Schanz und *Stockhausen* scheinen nach ihrer Mitteilung (Arch. f. Ophthalm. 1909. Bd. 69. S. 457) selbst nicht mehr an derselben festzuhalten.

Vogt konnte gegenüber *Schanz* und *Stockhausen* zum erstenmal zeigen, daß die Fluoreszenz der Linse nicht nur durch Ultraviolett, sondern auch durch Violett und Blau erzeugt wird. Filtriert man nämlich das Licht eines Finsenapparates durch *Schott*sches Uviolglas, so läßt sich mit Hilfe dieses Lichtes, das nun Ultraviolett, Violett, Blau und Rot enthält, deutliche Linsenfluoreszenz erzeugen. Wird nun das Ultraviolett durch ein geeignetes Absorptionsmittel ausgeschaltet, so wird zwar die Fluoreszenz abgeschwächt, aber nicht aufgehoben. Sie verschwindet erst völlig, wenn man Violett und Blau durch ein gelbes Eisenoxydglas zum größten Teil absorbiert. Es kann also die nach Ausschaltung des Ultraviolett noch vorhandene Fluoreszenz nur durch Violett oder Blau oder durch beide zusammen bedingt sein, da das rote Licht als Fluoreszenzerreger in diesem Falle nicht in Betracht kommt.

In neuerer Zeit hat sich *Heß* mit Untersuchungen über die Linsenfluoreszenz befaßt. Bei Bestrahlung lebender Augen mit blauem Lichte unter Benützung eines blauen Glases, das nach spektroskopischer Untersuchung noch einen Teil der grünen Strahlen durchläßt, zeigte sich die Pupille in der Jugend tief dunkel, annähernd farblos. Mit zunehmendem Alter zeigte sie einen immer zunehmenden grünen Reflex und bei Bestrahlung mit blauem Glas, das noch längerwelliges Licht durchließ, einen immer mehr ausgesprochenen dunkelgelben Reflex (Arch. f. Augenheilk. 1909. Bd. 64. H. 3. S. 299).

Heß benutzte zur Bestimmung des Anteils, welcher der Fluoreszenz hierbei zukommt, als Lichtquelle die kleine Zeißlampe mit aplanatischer Beleuchtungslinse. Zum Teil auch eine Nernstlampe. Als Lichtfilter dient ein Blauglas, das außer etwas Rot vorwiegend Licht von weniger als 495 $\mu\mu$ durchließ. Ferner ein zweites Blauglas, das etwas weniger vom Violett und etwas mehr vom Grün durchließ. Er zeigte, daß bei dieser Beobachtung die Linse grünlich erschien, in der Jugend weniger deutlich, im Alter ausgesprochener. — Doch konnte bei erhöhter Lichtintensität (Annäherung an der Lichtquelle) auch schon in der Jugend Fluoreszenz erzeugt werden.

Die Untersuchungen wurden am lebenden Auge wie an frisch extrahierten Linsen und an Leichenlinsen angestellt. Linsen, die bei Tageslicht deutlich gelb aussahen, zeigten in dem fraglichen blauen Licht einen gelbgrünen Reflex, der im allgemeinen um so

stärker wurde, je stärker gelb die Linse bei Tageslicht erschien. Dieselben Differenzen in der Färbung zeigten auch Linsen von Tieren verschiedenen Alters.

Ueber die Rolle der ultravioletten Strahlen bei dieser Färbung hat *Heß* bis jetzt wenige Versuche mitgeteilt; doch zeigte sich ihm bei der Ausschaltung des Ultraviolett durch ein Schwerflintglas eine geringe Abschwächung der Grünfärbung gelber Linsen.

Aehnliches Resultat erzielte er mit Uviolglas F. 3653 (*Schott*). Der Ton ging im allgemeinen mehr nach Bläulichgrün.

Wurden endlich die Linsen in Glyzerin eingeschlossen in verschiedene Bereiche des Spektrums gebracht, so konstatierte *Heß* die Absorption bei einer mäßig gelb gefärbten Linse zuerst etwa im Grünblau. Sie wurde dann bis zum Ultraviolett immer stärker.

Vor kurzem fand *Stübel* mit Hilfe des im weiteren zu beschreibenden Apparates, daß die Fluoreszenz der Kaninchenlinse intensiv hellblau sei (Arch. f. d. ges. Physiologie. Bd. 142. Die Fluoreszenz tierischer Gewebe in ultraviolettem Licht).

In Bezug auf die Farbe des Fluoreszenzlichtes ergeben somit die bisherigen Untersuchungen zum Teil entgegengesetzte Resultate. Nach *Helmholtz* fluoresziert die menschliche Linse in weißblauem Licht, ähnlich dem der Chininlösungen (Phys. Optik. 2. Aufl. S. 284).

Nach *Heß* zeigt dieselbe eine grünliche Färbung. Schon *Schulek* bezeichnet sie als grünlich blau, bei Erwachsenen grünlicher. Nach *Schulek* sollte sie im Alter fehlen.

Stübel fand die Fluoreszenz der Kaninchenlinse im reinen Ultraviolett intensiv hellblau.

Schanz und *Stockhausen* sahen die Linse in einem Farbenton fluoreszieren, den sie — wie schon frühere Autoren die Farbe des Ultraviolett — als lavendelgrau bezeichneten.

Kritik der bisherigen Untersuchungen.

Es scheint die erwähnte außerordentliche Differenz in den Angaben der Autoren über die Farbe der Fluoreszenz darauf zu beruhen, daß die verschiedenen Autoren zur Erzeugung der Fluoreszenz ganz verschiedene Methoden benutzten.

Es ist von vornherein anzunehmen, daß verschiedene Abschnitte des kurzwelligen Spektrums eine verschiedenartige Fluoreszenz erzeugen.

Ferner ist wahrscheinlich, daß bei der außerordentlichen Bedeutung, welche die chemische Zusammensetzung eines Körpers (z. B. minutiöseste Verunreinigung eines Kristalls durch Fremdstoffe) für die Art der Fluoreszenz besitzt, diese letztere eine andere ist bei jugendlichen Linsen als bei Linsen Erwachsener oder älterer Leute. Ist doch die chemische Zusammensetzung der Linse im Alter eine wesentlich andere als in der Jugend.

Endlich mag auch die verschiedenen Resultate der Umstand beeinflußt haben, daß die verschiedenen Autoren nur zum Teil

spektral reines Licht benutzten, während doch sehr verschiedene Teile des Spektrums fluoreszenzerregend auf die menschliche Linse wirken.

Auf diese Weise kann der Widerspruch in den Befunden von *Heß* und *Helmholtz* sich erklären.

Eine scharfe Trennung der Fluoreszenz durch Ultraviolett und durch die Strahlen des sichtbaren Spektrums wurde bisher nicht vorgenommen. Der Hauptgrund hierfür liegt in der Schwierigkeit der Technik. Das Ultraviolett des Spektrums zu benutzen geht deshalb nicht gut an, weil infolge der starken Dispersion die Intensität zu den vorliegenden Versuchszwecken eine zu geringe wird.

In neuerer Zeit ist durch *Lehmann* ein Apparat konstruiert worden, der gestattet, das Ultraviolett in bequemer Weise zu benutzen, wodurch ermöglicht wird, die größeren Wellenlängen des Ultraviolett in bedeutender Intensität isoliert auf die Linse wirken zu lassen.

Eigene Versuche. Versuchsanordnung.

Wir untersuchten die Einwirkung des kurzwelligen Abschnittes eines Eisenbogenlichtes auf die Linse auf zwei verschiedenen Wegen.

1. Mit Hilfe von *Schott*schem Uviolglas, 6 mm dicke Platte. Diese hat die Eigenschaft, alles Licht außer Ultraviolett, Violett, Blau und etwas Rot zu absorbieren.

2. Mit Hilfe des UV-Filter von *Lehmann*[1]) in Jena.

Lehmanns Apparat zur Isolierung des Ultraviolett besteht aus einer Filterkombination, in der Blauuviolglas, Nitrosodimethylanilin und eine konzentrierte reine Kupfersulfatlösung in Verwendung kommen.

Bekanntlich absorbiert das von *Wood* beschriebene Nitrosodimethylanilin (Phil. Mag. vol. 1912. p. 257) gut Blau und Violett, sowie größtenteils die Strahlen unterhalb 280 $\mu\mu$.

Um nun noch Grün und Rot abzuschneiden, für welches obengenannte Substanz gut durchlässig ist, fand sich eine konzentrierte wäßrige Lösung von Kupfersulfat als geeignet in Verbindung mit dem Jenaer Blauuviolglas, welches im übrigen noch in hohem Maße Durchlässigkeit für ultraviolettes Licht besitzt.

Dem Kupfersulfat kann man nach einer persönlichen Mitteilung von Prof. *v. Kowalski* zum Abschneiden des äußersten Violett, falls erforderlich, einige Tropfen von konzentrierter Nickelsulfatlösung zusetzen.

Eine handliche Zusammenstellung dieser Filterkomponenten für Absonderung des Ultraviolett wurde uns von der Firma Carl Zeiß in Jena geliefert.

---

[1]) *Lehmann:* Das UV-Filter und die UV-Filterlampe als Apparate zur Lumineszenzanalyse. Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Instrumentenkunde 1912, Heft 2.

Lehmann: Ueber ein Filter für ultraviolette Strahlen und seine Anwendung. Sonderabdruck aus den Verhandlungen der deutschen Physik. Gesellschaft. XII. Jahrgang No. 21. 1910.

Die Farbstoffe kommen in Küvetten mit Wänden aus Jenaer Blauuviolglas. Die Küvette ist einfach oder doppelt, je nachdem das Nitrosodimethylanilin in fester oder wässeriger Lösung angewendet wird.

Zu unseren Versuchen benutzten wir die einfache Zusammenstellung, in der zwei Wände aus Uviolglas die Küvette für die Kupfersulfatlöunsg bilden. In der einen Wand befindet sich eingeschlossen eine dünne Gelatineschicht zur Ausschaltung des Blau und des Violett.

Der Vorteil der beschriebenen Anordnung besteht hauptsächlich in den geringen Verlusten durch Absorption und Dispersion, wie dies die spektrale Untersuchung mit sich bringt.

Als Lichtquelle benutzten wir einen Finsenapparat mit den bekannten Eisenlichtkohlen von Gebr. Siemens & Cie. zur Erzeugung von an ultravioletten Strahlen möglichst reichem Licht. Der Finsenapparat älteren Modells, mit Quarzoptik, wurde uns von dem Oberarzt der medizinischen Abteilung der Kantonalen Krankenanstalt Aarau, Dr. *Frey*, freundlichst zur Verfügung gestellt.

Der Apparat befindet sich in einem Dunkelraum, und durch eine in der vorderen Wand angebrachte Oeffnung gelangen die Strahlen in ein Dunkelzimmer.

Das durch das UV-Filter gegangene Licht erscheint dem bloßen Auge blau, läßt aber keine mit Hilfe des Spektroskops nachweisbaren Mengen sichtbarer Strahlen durch. Mit Hilfe einer Quarzlinse wurden die Lichtstrahlen parallel gemacht und durch eine zweite Quarzlinse konzentriert. Dieses gesammelte Licht wurde dann auf das Untersuchungsobjekt gerichtet.

Zu den Versuchen dienten zum größten Teil die menschlichen Linsen, und zwar die in vivo oder kurz nach dem Tode in ihrer unversehrten Kapsel extrahierten Leichenlinsen.

Im Laufe des Jahres hatten wir ferner öfters Gelegenheit, frisch extrahierte kataraktös veränderte Linsen wie auch Aphakische zu untersuchen. Einige Versuche wurden ferner mit Kalbs-, Ochsen- und Schweinslinsen angestellt.

Die Farbe der Linse, wie auch die Fluoreszenzfarben wurden an der Hand der Farbenskala von Klincksieck und Valette bestimmt. (Côde des couleurs par Klincksieck et Valette, Paris 1908. Bezogen bei Klincksieck, Editeur, rue Corneille, Paris.)

Die beigegebenen Nummern bezeichnen die Nummern der Skala dieses Côde des couleurs (abgekürzt C. C.)

Die Farben nach der Skala wurden jeweilen bei Tageslicht bestimmt, wobei also meistens die Erinnerung zu Hilfe genommen wurde. Die hierdurch bedingte Fehlerquelle wurde dadurch möglichst vermindert, daß mehrere farbentüchtige Personen unmittelbar nach den meist mehrfach wiederholten Versuchen die Farbe bestimmten.

In den Versuchen wurde die Linse zur Beleuchtung auf eine Porzellanschale gebracht, zur Durchleuchtung in die runde Oeffnung

einer vertikal gestellten Marmorplatte. Diese Medien wurden gewählt, weil sie nicht oder nur unbedeutend fluoreszieren.

Vorversuche.

Wir suchten zunächst mit Hilfe von Quarzoptik ein an Ultraviolett möglichst reiches Spektrum zu erzeugen. Wir sind Herrn Prof. Dr. *Tuchschmid* in Aarau für seine Bemühungen, die wir hierbei in Anspruch nahmen, zum besten Dank verpflichtet. Es zeigte sich, daß die Intensität infolge von starker Dispersion zu schwach war, um auf diesem Wege eine schön sichtbare Fluoreszenz hervorzurufen.

Es wurde bei genügender Abblendung des diffusen Lichts, wie sie *Helmholtz* vorschreibt, allerdings eine Fluoreszenz erzielt, deren Farbe aber sehr schwer zu definieren und auch nach langer Dunkeladaptation so gering war, daß es bisweilen fraglich erschien, ob sie die Reizschwelle des Zapfenapparates überhaupt erreichte. Hierzu mochte beitragen, daß uns nur *ein* Quarzprisma zur Verfügung stand, die von *Helmholtz* angegebene Versuchsanordnung also nicht genau innegehalten werden konnte.

Eine deutliche Farbenänderung erlitt das Spektrum dagegen wenn die Linse in den Bereich des sichtbaren Spektrums gebracht. wurde.

Folgende Versuche, die sich auf das mit Quarzprisma erzeugte Spektrum des Finsenapparates beziehen, seien zur Illustrierung des eben Gesagten angeführt.

Versuch 1.

Extrahierte Linse einer 55 jährigen Frau erscheint auf weißem Porzellan bei diffusem Tageslicht vollständig durchsichtig, leicht gelbgrün, C. C. 271.

Sie wird in die verschiedenen Teile des Spektrums gebracht und im auf- und durchfallenden Lichte beobachtet.

Dieser Versuch ergibt folgendes:

Spektrumteil	im auffallenden Licht	Im durchfallenden Licht
Rot	unverändert	unverändert
Orangegelb	,,	,,
Gelb	Stich ins Grüne	,,
Gelbgrün	unverändert	,,
Hellblau	leicht abgeschwächt	etwas abgeschwächt
Violett	abgeschwächt	stark abgeschwächt
Ultraviolett	blauweißlicher Schimmer	total absorbiert (mit Bariumplatincyanürschirm nicht mehr wahrnehmbar).

Versuche 2 und 3.

Versuch mit 2 Linsen von 90 jährigem Mann. Rinde farblos.

Der Kern der einen ist hell gelbbraun C. C. 161.

Der Kern der andern ist dunkel gelbbraun C. C. 156.

Im großen und ganzen dasselbe Resultat wie Versuch 1. Uebereinstimmung der Farbe für Rot bis Violett. Im Violett und Ultraviolett nicht deutlich wahrnehmbare Fluoreszenz.

Versuch 4.

Linse eines 32 jährigen Mannes. Bei Tageslicht erscheint der Kern hell gelbgrün C. C. 271. Rinde ist weißlich trübe.

Das durch die Linse bei Tageslicht auf Porzellanfläche entworfene Bild zeigt mehr Gelbfärbung als die Linse selbst.

Im übrigen ähnliches Resultat wie Versuch 1. Aehnliches Resultat ergeben folgende 4 Versuche mit Linsen eines Kindes von 8 Monaten, das wenige Stunden post partum starb. Farbe bei Tageslicht zwischen C. C. 0321 und 0296 grünlichgelb.

Das durch die Linse entworfene Bild erscheint wieder viel grünlicher als die Linse selbst, annähernd C. C. 228 A.

Eine Linse eines 6 Monate alten Fötus erscheint etwas trübe und farblos.

Grünliche Linse eines 10 jährigen wie C. C. 0321.

Gelbe Linse eines 83 jährigen wie C. C. 216/241.

Hellgelbgrüne Linse eines 30 jährigen wie C. C. 253 A.

Epikrise.

Epikritisch kann nach diesen Versuchen gesagt werden, daß auch bei genügender Abblendung des sichtbaren Spektrums eine Fluoreszenz mit Hilfe des ungesammelten Ultraviolett des Spektrums zwar wahrnehmbar, aber nicht sehr ausgesprochen ist.

Im sichtbaren Teil des Spektrums drückt sich die Fluoreszenz durch einen grünlichen Ton im Gelb und durch eine Abschwächung des Blau und Violett aus.

Diese Erscheinungen bestehen sowohl im auffallenden wie im durchfallenden Licht, sind aber zu wenig ausgesprochen, um beispielsweise eine deutliche Differenz im Verhalten von jüngeren und älteren Linsen erkennen zu lassen.

Sehr bemerkenswert ist, daß das durch die Linse entworfene Bild intensivere Gelbfärbung zeigt, vielleicht durch Wegfall des grünlichen Tones, der als Teilerscheinung der durch das Tageslicht erzeugten Fluoreszenz zu betrachten ist.

Viel deutlichere Resultate erzielt man mit folgenden Methoden:

1. Versuche am lebenden Auge:
   a) normales Auge;
   b) kataraktöses und aphakisches Auge.
2. Versuche an extrahierten Linsen:
   a) klare Linsen;
   b) kataraktöse Linsen.

A. Mittels Uviolglaslichtes (d. h. durch Blau uviolglas filtrierten Lichtes).

B. Mittels UV-Filterlichtes.

1. Fluoreszenz im Uviolglaslicht.

Zunächst wurden die Versuche mit dem filtrierten Licht des Blauuviolglases allein ausgeführt. Das Blauuviolglas von der Firma Schott u. Gen., Jena, 6 mm dick, besitzt eine große Durchlässigkeit für ultraviolette Strahlen und läßt neben den zahlreichen blauen und violetten Strahlen noch einen Streifen im Rot durch.

Die Lichtstrahlen gelangten vom Quarzapparat der Lichtquelle auf das Blauuviolglas, welches an der Oeffnung der Dunkelkammer angebracht wurde.

1a. Um das Verhalten der menschlichen Linse in vivo in diesem

Licht zu beobachten, wird die Pupille des zu Untersuchenden in einer Entfernung von 15 –20 cm von dem Kollektorsystem mit dem Uviolglaslicht beleuchtet.

Dem Untersuchten erscheint das Licht Indigo, etwa wie C. C. 456. Das ganze Gesichtsfeld ist von einem Nebel in diesem Farbenton übergossen, so daß die Sehschärfe beeinträchtigt ist (z. T. Fluoreszenzwirkung des kurzwelligen Endes). Dieser Nebel verschwindet teilweise, wenn das Licht durch ein gelbes Eisenoxydglas filtriert wird, wodurch das kurzwellige Spektralende (Ultraviolett und der größte Teil von Violett, Indigo und Blau) absorbiert wird.

Das Experiment zeigte bei hinreichender Dunkeladaptation des Beobachters und in der erwähnten Beleuchtung des untersuchten Auges, daß die Pupille bei jugendlicher Linse in einem grünen Farbenton erscheint und mit zunehmendem Alter einen immer stärker grüngelben Ton annimmt.

Diese Beobachtung ergab sich aus folgenden 34 Untersuchungen:

Versuche 9—42.

Alter	Name	Farbe der Pupille	Nach C. C.
30 Jahre	M. E.	Gelbgrün	281
47 „	F.	dto.	291
5 Mon.		Dunkel, Spur grünlich	334
16 Jahre	X.	Intensiv gelbgrün	276/281
18 „	B. A.	dto.	276/281
40 „	St.	Schwach gelbgrün	291
23 „	L. D.	Intensiv gelbgrün	276/281
13 „	J. S.	Intensiv grün	331
9 „	V.	Schmutzig grünblau	353
10 „	W. E.	Grün	336
11 „	B. P.	dto.	336
13 „	F. W.	Intensiv gelbgrün	276
7 „	S. N.	Grün	331/336
6 „	S. A.	dto.	366
7 „	S. V.	dto.	331
12 „	M. L.	Schmutziges Gelbgrün	277
20 „	B. Z.	Gelbgrün	276/281
70 „	H. H.	Hell gelbgrün starke Fluoreszenz	266/271
20 „	H.	Grün	336/341
56 „	E.	Zitronengelb mit Stich ins Grüne, starke Fluoreszenz	261/266
27 „	J. B.	Stumpf gelbgrün	277/282
30 „	J. S.	Gelbgrün	281
61 „	St. B.	Hell gelbgrünlich	261/266
46 „	N. A.	Gelbgrün	281/282
19 „	H. A.	Grün	306/311
13 „	L. R.	dto.	331/336
10 „	M. F.	Schmutzig grün	302
73 „	Fr. S.	Hellgelb, etwas grünlich	266/271
68 „	Th. L.	dto.	261/266
64 „	H.	dto.	261/266
70 „	A.	Hellgelb, mit Spur grün	266/271
52 „	K. C.	Gelbgrün	253 B.
62 „	Sal. G.	Hellgelb, Stich grün	266
17 „	P. E.	Schmutzig grün	312

Aus dieser Versuchsreihe geht hervor, daß die junge Linse im Licht des Blauuviolglases grün fluoresziert wie C. C. 331/336 (siehe Tafel VI).

Die Pupille des Erwachsenen bekommt einen Stich ins Gelbliche, annähernd C. C. 276/281.

Wogegen die ältere Linse, schon in der fünften Lebensdekade eine noch deutlichere gelbgrüne Fluoreszenz aufweist, ähnlich wie C. C. 261 oder 2266.

Die auf der am Schluß beigefügten Tafel I gegebenen Farben beziehen sich auf diese verschiedenen Altersstufen:

Fig. 1. Farbe der jugendlichen Linse (6 jähriges Mädchen).

Fig. 2 entspricht der Linsenfluoreszenz eines Greises (Fr. S., 73 Jahre alt), in dem durch Uviolglas filtrierten Licht.

Es handelt sich hierbei nur um angenäherte Taxationen, die durch übereinstimmende Beobachtungen mehrerer farbentüchtiger Personen gewonnen wurden.

Aus obiger Tabelle ist auch zu ersehen, daß häufig schon jugendliche Linsen einen Stich ins Gelbliche aufweisen (F. W., 13 J., C. C. 276) während dem umgekehrt die von Erwachsenen eine mehr grüne Färbung zeigen können (Z. B., 20 jähriger Jüngling).

Bei sehr jugendlichen Individuen ist die Fluoreszenz so gering, daß die Feststellung der Farbe nicht leicht ist, beispielsweise beim erwähnten 5 Monate alten Kinde.

Eine Fehlerquelle, die bei diesen Beobachtungen schwer auszuschalten ist, ist die blauviolette Beleuchtung der Umgebung der Pupille des Auges, welche zur Entstehung einer Kontrastfarbe in der Pupille Veranlassung gibt, so daß der gelbe Ton fluoreszierender Linsen zum Teil auf Rechnung dieses Kontrastes zu setzen ist.

b) Kataraktöse und Aphakische.

Von Interesse sind folgende Untersuchungen bei Aphakischen oder bei mit Cataracta traumatica, intumescens oder matura behafteten Patienten aus der Augenabteilung.

Versuch 43.

H., 79 jährig, mit Cat. mat. sin. und Cat. incip. dext. Mit dem rechten Auge sieht der Patient nur einen leichten Schimmer des fraglichen Lichtes, hierbei fluoresziert die Pupille zitronengelb, ähnlich C. C. 236.

Versuch 44.

24 jähriger Mann mit Cat. traumat. dext.

Die Linsenreste erscheinen wie die anderen Augenmedien in violetter Farbe. Also fluoreszieren Linsenkapselreste in diesem Lichte nicht wahrnehmbar.

Das gesunde Auge erscheint wie 281/282 gelbgrün.

Versuch 45.

R. P., Cat. dext. traum., 14 Jahre alt.

Linsenkapsel- und Kortikalreste erscheinen violett, keine Fluoreszenz sichtbar.

Im intakten Auge ist die Fluoreszenz gelbgrün, aber weniger ausgesprochen als beim folgenden 70 Jahre alten Individuum.

Versuch 46.

Dieses weist eine starke gelbgrünliche Fluoreszenz der rechten Pupille wie C. C. 266/271.

Die linke Pupille mit extrahierter Linse fluoresziert nicht.

Versuch 47.

Ebenfalls keine Fluoreszenz bei 68 jähriger Frau mit in den Glaskörper luxierter Linse einerseits, extrahierter Linse andererseits.

Versuch 48.

P., 60 Jahre alt mit Aphakia sin.

Die Pupille weist einen violetten Schimmer der Kapselreste auf. Keine Fluoreszenz feststellbar.

Die rechte Linse ist intakt und fluoresziert stark gelbgrünlich C. C. 266/271.

Versuch 49.

H., 56 Jahre alt; Perforatio bulbi sin. Aphakie durch Luxation. Keine Fluoreszenz.

Rechtes Auge fluoresziert gelb mit grünlichem Ton, wie C. C. 261/266.

Versuch 50.

L., 51 jährige. Linksseitige Aphakie.

Pupille erscheint violett. Fluoreszenz fehlt. Violette Färbung der Reste der Corticalis.

Rechts gelbgrüne Fluoreszenz der leicht getrübten Linse.

Aehnliche Resultate wie in vivo ergeben extrahierte menschliche Linsen. Es handelt sich hierbei teils um frisch extrahierte kataraktöse Linsen, teils um durchsichtige Linsen von Leichen.

Folgende Tabelle gibt eine Uebersicht von diesen 30 Untersuchungen.

(Siehe nebenstehende Tabelle.)

Aus diesen letzten Versuchsreihen (kataraktöse Linsen in vivo und extrahierte Linse) ergibt sich, daß die Katarakt auf die Fluoreszenz im Uviolglaslicht insofern einen Einfluß hat, als nur eigentliche Linsensubstanz, nicht aber Linsenkapselreste oder Exsudate ausgesprochen fluoreszieren, auch die gequollene Linsenmasse der Cataracta traumatica weist keine nennenswerte Fluoreszenz auf. Im Alter ist die Fluoreszenz intensiver als in der Jugend (im Gegensatz zu den Befunden *Schuleks*) und zeigt einen deutlichen Stich ins Gelbgrüne.

Aehnliche Resultate ergeben Versuche mit klaren Linsen jüngerer und älterer Tiere (Rind, Schwein).

B. Versuch mit Lehmanns Filter für ultraviolette Strahlen.

An Stelle des Blauuviolglases wird das oben (S. 8) beschriebene Filter mit einfacher Küvette als Behälter der Kupfersulfatlösung in die Lichtstrahlen eingeschaltet. Die freie Oeffnung des Filters beträgt 40 mm. Die filtrierten Strahlen werden wieder mittels des Quarzlinsensystems konzentriert und in den Brennpunkt dieser Vorrichtung die zu untersuchende Linse oder Pupille gebracht.

Unser Bestreben ging dahin, 1. die Fluoreszenz der menschlichen Linse in vivo, 2. der extrahierten Linse des Menschen im reinen Ultraviolett zu bestimmen.

Versuche 51—80.

Alter der Linse	Farbe nach dem C. C.	
	I. bei Tageslicht	II. bei Uviolglaslicht
40 Jahre	296	266
17 „	0321	0296
40 „	0296	253 D
85 „	191	256 intensiv gelbe Fluoreszenz, Spur grün
45 „	266	253 D
51 „	Orangegelb 161	266
36 „	0271	253 D
25 „	0271	291
35 „	266/271	253 D
47 „	271	261
50 „	0296/278 A.	256
46 „	271	256
16 „	0321	311/312 Intensiv grün
53 „	266/271	256
67 „	216/241 gelb	256
43 „	0271	256
12 „	0321	311
70 „	216/246 gelb	266
74 „	211/241	256
68 „	216/246	266
47 „	271	256
31 „	271	291
76 „	216 gelb	256
80 „	216 gelb	256
23 „	0271	291
20 „	0271	291
65 „	Cat. mat. Kern orangegelb wie 156 schwach indigo wie 478 C.	
52 „	Cat. mat. 161 bräunlichgelb schwach indigo wie 478 C.	
62 „	Cat. incip. 166 gelbbraun weißlichviolett	
67 „	Cat. mat. 156 orangegelb dto.	

1. Fluoreszenz der lebenden Linse.

Versuch 81.

Patient R., 61 Jahre alt, atropiniertes Auge. Linse klar.

Im auffallenden Lichte des Filters erscheint die Linse blaß bläulich mit leichtem Stich ins Grünliche, ähnlich C. C. 396 (s. Tafel VI, Fig. 3).

Versuch 82.

51 jähr. Linksseitige Aphakie. Die Pupille erscheint schwarz mit Ausnahme eines schön violett erscheinenden Linsenkapselrestes (wie C. C. 481).

Rechte Linse fluoresziert wie C. C. 396.

Bei demselben Patienten erscheint die Linse im Uviolglaslicht ziemlich intensiv gelbgrün (siehe oben Versuch 50).

Versuch 83.

16 jähriger Patient. Durch Ultraviolett beleuchtete Pupille erscheint nicht wesentlich anders als beim 61 jährigen (Versuch 81). Sie fluoresziert bläulich, ungefähr wie bei Versuch 81, jedoch etwas weniger intensiv, etwa C. C. 0396.

Versuch 84—87.

30 jähriger. Das normale Auge im Ultraviolett erscheint mit bläulicher Pupille.

27 jähriger. Pupille bläulich, Spur grün.

36 jähriger. Auge normal, bläuliche Fluoreszenz der Pupille.

42 jähriger. Aehnliches Verhältnis, Linse fluoresziert wie C. C. 396.

2. Extrahierte Linsen, davon 1 kataraktös.

Aehnlich verhalten sich die frisch an der Leiche extrahierten Linsen. Die Fluoreszenz ist hell bläulich, mit Stich ins Grüne. Gelegentlich wurden auch Versuche mit tierischen Linsen (Kalb, Rind, Schwein) ausgeführt.

Das Phänomen der Fluoreszenz verhält sich auch bei dieser Beleuchtung bei Tieren ähnlich wie beim Menschen. Im Laufe der Versuche hatte man Gelegenheit, zu beobachten, daß im allgemeinen eingetrocknete Linsenmassen stärker fluoreszieren als frisch extrahierte Linsen.

Versuch 88.

Linsen von 36 jährigem Mann, bei diffusem Tageslicht grünlichgelb, transparent, fluoresziert im auffallenden Licht *weißlichblau*.

Selbes Verhalten für **Versuch 89 und 90**. 2 Linsen von 46 und 52 Jahren, welche bei Tageslicht intensivere Gelbfärbung zeigten.

Versuch 91.

Extrahierte Linse einer 67 jährigen Frau Cat. mat. Die Linse erscheint im Tageslicht orangegelb. Der Kern wie C. C. 156. Die Corticalis mehr wie 166.

Im Ultraviolett erscheint die Peripherie bläulich wie C. C. 421, ähnlich der Fluoreszenz der 2 proz. schwefelsauren Chininlösung (unsere Tafel, Fig. 4), dagegen der zentrale Teil mehr hell grünlichblau wie C. C. 396.

Weitere Versuche an jüngeren und älteren Individuen ergaben mit UV-Filter stets dasselbe eine bläuliche Fluoreszenz, die besonders bei älteren Individuen einen Stich ins bläulichgrünliche aufweist. Die Fluoreszenz war in der Jugend immer weniger deutlich als im Alter und zeigte in der Jugend ein reineres Blau. In einigen Fällen wurde die Fluoreszenz mit Uviolglaslicht zumVergleich angestellt und ergab stets einen auffallend gelbgrünen bis gelben Ton.

Versuch 92.

Rinderlinsen. Durch die gesamten Augenmedien eines Rindsauges im normalen Situs nach Fensterung des hinteren Skleralpols wird das Ultraviolett hochgradig abgeschwächt (Durchleuchtung). Die Pupille erscheint bei seitlicher Beleuchtung weißlichblau mit Stich ins Grüne.

Es ergibt sich, daß mit dem UV-Filter die Linse sowohl in vivo als extrahiert eine bläuliche Fluoreszenz zeigt, die leichten Stich ins Grünliche aufweist.

Der letztere grünliche Ton ist ausgesprochener bei älteren Individuen. Die Fluoreszenz ist intensiver im Alter als in der Jugend.

Wir finden in dieser Beziehung somit genau das Entgegengesetzte wie *Schulek*. Es dürfte das auf die ungenügende Versuchsanordnung *Schuleks* zurückzuführen sein, indem er seine Versuche an Ultraviolett von ganz ungenügender Intensität anstellte (spektral dispergiertes Ultraviolett).

Die Beobachtung von *Helmholtz* und neuerdings auch von *Stübel* gilt nur für die Linsen Jugendlicher, welche in der Tat im

reinen Ultraviolett ähnlich wie Chininlösung fluoreszieren, allerdings mit einem leichten Stich ins grünliche.

Die Versuche von *Heß* kommen für die Fluoreszenz im Ultraviolett nicht in Betracht, da er nicht spektral reines Licht verwendete. Dagegen stimmen unsere Versuchsresultate mit Uviolglaslicht mit denen von *Heß* überein, indem sie eine *grüne* bis *gelbgrüne* Fluoreszenz ergeben.

Zusammenfassung.

1. Die Widersprüche in den Angaben der bisherigen Autoren über die Art der Linsenfluoreszenz beruhen darauf, daß einerseits nicht immer gleich zusammengesetztes, andererseits zu wenig intensives kurzwelliges Licht zur Fluoreszenzerzeugung benutzt wurde.

2. Unsere Untersuchung mit Uviolglaslicht (Ultraviolett, Violett, Blau und etwas Rot) ergibt bei Anwendung einer an kurzwelligen Strahlen reichen Lichtquelle und von Quarzoptik für die menschliche Linse gelbgrüne Fluoreszenz. Diese ist im Alter stärker als in der Jugend, hat durchschnittlich in der Jugend einen mehr nach Grün, im Alter mehr nach Gelb gehenden Stich.

Die gequollenen Linsenmassen bei Cataracta traumatica fluoreszieren in diesem Licht nicht nennenswert, ebenso ist keine deutlich erkennbare Fluoreszenz der Linsenkapselreste und der Pupillenexsudate nachzuweisen. Die aphakische Pupille fluoresziert nicht.

3. Die Untersuchung mit dem *Lehmann*schen UV-Filter (konzentriertes nahezu reines Ultraviolett) ergibt eine *bläulich weiße* Linsenfluoreszenz, die meist einen schwachen Stich nach Bläulichgrün bis Gelbgrün aufweist, besonders im Alter.

Zum Schlusse sei mir gestattet, Herrn *Dr. A. Vogt*, Oberarzt der Augenabteilung, meinen innigsten Dank auszusprechen für seine Anleitung, seine anregende und freundliche Unterstützung.

Herrn Prof. Dr. *C. Mellinger*, Direktor der Universitäts-Augenklinik Basel, danke ich bestens für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Literatur-Verzeichnis.

1. *A. Winkelmann*, Handb. d. Phys. 1906. Bd. VI. Optik. II. Aufl. 2. *v. Helmholtz*, Physiol. Optik. 1911. Bd. II. III. Aufl. 3. *Schulek*, Ungar. Beiträge zur Augenheilk. Bd. II. S. 645/646. 4. *Schanz* u. *Stockhausen*, Zur Aetiologie des Glasmacherstars. Arch. f. Ophthalm. 1910. Bd. 73. S. 553. 5. Dieselben, Weiteres über Blendung. Ebenda. S. 561. Dieselben, Ueber die Fluoreszenz der Linse. Ebenda. S. 185. 8. Dieselben, Demonstrationsvortrag über Linsenfluoreszenz an der Versammlung der Ophthalmologischen Gesellschaft zu Heidelberg 1908 und Diskussion zu dem von *Vogt* daselbst gehaltenen Vortrag über Ursache und Wesen der Blendungserythropsie. 9. *Vogt*, Kritik der Abhandlungen von *Schanz* und *Stockhausen* etc. Arch. f. Augenheilk. 1909. Bd. 64. S. 362. 10. *V. Wydler*, Experimentelle Untersuchungen über Blendungsnachbilder und deren Verhältnis zur Blendungserythropsie. Ztschr. f. Augenheilk. 1912. Bd. 27. H. 4. 11. *C. Heß*, Weitere Mitteilungen

über die Gelbfärbung der menschlichen Linse und ihren Einfluß auf das Sehen. Arch. f. Augenheilk. 1909. LXIV. Bd. H. 3. 12. Derselbe, Messende Untersuchungen über die Gelbfärbung der menschlichen Linse etc. Arch. f. Augenheilk. 1909. LXIII. Bd. 13. *H. Lehmann*, Das UV-Filter und die UV-Filterlampe als Apparate zur Lumineszenzanalyse. Sonderabdruck aus der Ztschr. f. Instrumentenkunde. 1912. H. 2.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel VI.

Fig. 1. Fluoreszenzfarbe der jugendlichen menschlichen Linse in durch Uviolglas filtriertem Bogenlicht.
Fig. 2. Fluoreszenzfarbe der Linse eines Greises in demselben Licht.
Fig. 3. Farbe der Pupille eines 61 jährigen im Lehmann'schen UV-Filterlicht.
Fig. 4. Farbe der im Ultraviolett fluoreszierenden schwefelsauren Chininlösung.

336.
Fig. 1.

261.
Fig. 2.

396.
Fig. 3.

421.
Fig. 4.

Verlag von S. Karger in Berlin N.W. 6.